

B e s c h r e i b u n g

Verfahren sowie Mikroorganismus zur Herstellung von D-Mannitol

Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie einen Mikroorganismus zur Herstellung von D-Mannitol.

- 5 Der weltweite Jahresbedarf am Zuckeralkohol D-Mannitol (D-Mannit) beläuft sich auf 30.000 Tonnen im Jahr. D-Mannitol findet Verwendung im Lebensmittelbereich als zahnschonender Süßstoff, in der Medizin als Plasmaexpander und Vasodilator (Hexanitroderivat), sowie in der pharmazeutischen Industrie zur Produktion von Tabletten.

10

Die großtechnische Produktion von D-Mannitol erfolgt bisher über die katalytische Hydrierung an Metallkatalysatoren von Glucose/Fructose-Gemischen als Ausgangsmaterialien. Aufgrund der fehlenden Stereospezifität der katalytischen Hydrierung beträgt die Ausbeute an D-Mannitol nur 25-30% mit einem dreifachen

- 15 Überschuß an D-Sorbitol (Makkee M, Kieboom APG, Van Bekkum H (1985), Production methods of D-mannitol. *Starch/Stärke* 37: 136-140).

20

D-Mannitol und D-Sorbitol unterscheiden sich nur durch ihre Konfiguration am Kohlenstoffatom C-2 (Stereoisomere), so dass eine Abtrennung des unerwünschten Sorbitols mit Schwierigkeiten verbunden und aufwändig ist.

25

Eine Alternative bietet die Herstellung von D-Mannitol durch enzymatische Hydrierung von D-Fructose in einem mikrobiellen Biotransformationsverfahren, bei dem eine rekombinante Mannitol-Dehydrogenase (MDH) aus *Pseudomonas fluorescens* isoliert wird und zusammen mit einer Formiat-Dehydrogenase (FDH) aus *Candida boidinii* und NADH in einem Membranreaktor inkubiert wird (Slatner, M. et al. (1998) Biotransf. 16: 351-363). Durch den Einsatz der Formiat-Dehydrogenase wird ein Reduktions-Oxidationszyklus für NADH geschaffen, welches durch die Membran im Reaktionsgefäß zurückgehalten wird. Dadurch

30 konnten lediglich 70-90% der Fructose in D-Mannitol umgewandelt werden. Ferner besitzt die eingesetzte Mannitol-Dehydrogenase eine mangelnde Stabilität (50 h Halbwertszeit; nach Stabilisierung mit Dithiothreitol: 100h), Empfindlichkeit

BESTÄTIGUNGSKOPIE

gegenüber hohen Temperaturen $>30^{\circ}\text{C}$ sowie gegenüber Scherkräften. Ein weiterer großer Nachteil liegt darin, dass Membranreaktoren auf Grund der hohen Kosten für isolierte Enzyme, benötigte Cofaktoren und Membranen für eine großtechnische Produktion ungeeignet sind.

5

Eine weitere Möglichkeit der D-Mannitol Produktion bietet ein fermentatives Verfahren, wobei Ausbeuten von ca. 85% unter Einsatz von D-Fructose/D-Glucose-Gemischen als Substrate und dem heterofermentativen Milchsäurebakterium *Leuconostoc mesenteroides* ATCC 12291 als katalysierenden Organismus in einer Fermentation mit wachsenden Zellen erhalten wurden (Soetaert (1991) Synthesis of D-mannitol and L-sorbose by microbial hydrogenation and dehydrogenation of monosaccharides. PhD Thesis, University of Gent)). Das Gen der MDH aus *Leuconostoc pseudomesenteroides* und dessen Charakterisierung ist ebenfalls bekannt (J. Aarnikunnas et. al., Applied Microbiology and Biotechnology, 13. Juli 2002). Die hierbei für die Reduktion von Fructose zu D-Mannitol notwendigen Reduktionsäquivalente stammen aus der Oxidation von Glucose zu organischen Säuren. Neben dem Problem der nur 85%igen Umsetzung des Substrates Fructose zu D-Mannitol ist der Einsatz von D-Glucose nachteilig, da eine Kontamination des Zielproduktes mit organischen Säuren während der Fermentation auftritt und diese organischen Säuren durch aufwendige Prozeßschritte entfernt werden müssen. Bei Fermentationen mit wachsenden Zellen kann keine 100%ige Umsetzung des Substrates zum Produkt erzielt werden, da ein Teil des Substrates zum Zellaufbau bzw. zur Neubildung von Biomasse verbraucht wird. Zudem ist die Fermentation von *Leuconostoc mesenteroides* schwierig (Schleimbildung) und teuer aufgrund der komplexen Medien und die Aufarbeitung des Überstandes daher ebenfalls aufwändig.

Aus der Literatur sind drei weitere Mannitol-2-Dehydrogenasen bekannt und auch hinsichtlich ihrer biochemischen Eigenschaften und Nukleotid-/Aminosäuresequenzen beschrieben. Hierzu gehört die Mannitol-2-Dehydrogenase aus *Pseudomonas fluorescens* DSM 50106 (Brünker P, Altenbuchner J, Mattes R (1998) Structure and function of the genes involved in mannitol, arabitol and glucitol utilization from *Pseudomonas fluorescens* DSM 50106. *Gene* **206**: 117-126.), aus *Rhodobacter sphaeroides* Si4 (Schneider KH, Giffhorn F, Kaplan S (1993) Cloning, nucleotide sequence and characterization of

30

35

the mannitol dehydrogenase gene from *Rhodobacter sphaeroides*. *J. Gen. Microbiology* **139**: 2475-2484) sowie aus *Agaricus bisporus* (Stoop JM, Mooibroek H (1998) Cloning and characterization of NADP-mannitol dehydrogenase cDNA from the button mushroom *Agaricus bisporus*, and its expression in response to NaCl stress. *Appl. Environ. Microbiol.* **64**: 4689 – 4696.). Die beiden Erstgenannten gehören zur Gruppe der langkettigen Dehydrogenase/Reduktase Protein Familie (LDR), die letztgenannte zur Gruppe der kurzkettigen Dehydrogenase/Reduktase Protein Familie (SDR).

10 Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein verbessertes Verfahren zur Herstellung von D-Mannitol bereitzustellen, das die beschriebenen Nachteile des Standes der Technik vermeidet.

15 Die Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Produktion von D-Mannitol mittels eines Mannitol-2-Dehydrogenase (MDH) exprimierenden Organismus, wobei die Zucker-Substrate und/oder Zucker-Substratvorläufer der MDH über ein nicht-phosphorylierendes Zucker-Transportsystem in den Organismus transportiert werden, gelöst.

20 Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird erreicht, dass der mit der MDH umzusetzende Zucker ohne eine vorherige Phosphorylierung direkt durch die MDH zu D-Mannitol umgesetzt werden kann. Durch diese direkte Umsetzung werden überraschenderweise gegenüber dem bisherigen Stand der Technik verbesserte Ausbeuten und Konzentrationen des D-Mannitol im Reaktionsüberstand ermöglicht. Teilweise werden mit dem erfindungsgemäßen Verfahren schon Ausbeuten von bis 100 % bezogen auf das Substrat (Glukose) erhalten. Ferner werden Konzentrationen bis zu 40 g/L mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erzielt.

25 Unter Organismus werden sowohl ein – als auch mehrzellige Organismen, insbesondere Mikroorganismen verstanden.

30

Ferner wird die Aufgabe durch einen Mikroorganismus gelöst, der die Enzyme MDH gemäß Sequenz Nr. 2 und FDH gemäß Sequenz Nr. 3 zur mikrobiellen Herstellung von D-Mannitol exprimiert und ein nicht-phosphorylierendes Zucker-

Transportsystem aufweist, das die Zucker-Substrate und/oder Zucker-Substratvorläufer der MDH in den Mikroorganismus transportiert.

5 Unter der Bezeichnung D-Mannitol soll nachfolgend auch D-Mannit verstanden werden.

Im Rahmen dieser Erfindung werden alle Nukleotidsequenzen, die für eine Mannitol-2-Dehydrogenase codieren unter der Bezeichnung "*mdh*-Gensequenz" zusammengefasst. Das Enzym Mannitol-2-Dehydrogenase wird im Folgenden unter der Bezeichnung „MDH“ zusammengefasst.

10 Entsprechend werden alle Nukleotidsequenzen, die für eine Formiat-Dehydrogenase codieren unter der Bezeichnung "*fdh*-Gensequenz" zusammengefasst. Das Enzym Formiat-Dehydrogenase wird im Folgenden unter der Bezeichnung „FDH“ zusammengefasst.

15 Auch werden alle Nukleotidsequenzen, die für einen Glukosefacilitator codieren unter der Bezeichnung "*glf*-Gensequenz" zusammengefasst. Das Protein Glukosefacilitator wird im Folgenden unter der Bezeichnung „GLF“ zusammengefasst.

20 Ferner werden unter Nukleotidsequenz alle Nukleotidsequenzen verstanden, die (i) exakt den dargestellten Sequenzen entsprechen; oder (ii) mindestens eine Nukleotidsequenz umfassen, die innerhalb des Bereichs der Degeneration des genetischen Codes den dargestellten Sequenzen entspricht; oder (iii) mindestens eine Nukleotidsequenz umfasst, die mit einer zur Nukleotidsequenz (i) oder (ii) komplementären Nukleotidsequenz hybridisiert, und gegebenenfalls (iiii) funktionsneutrale Sinnmutationen in (i) umfasst. Dabei bedeutet der Begriff funktionsneutrale Sinnmutationen den Austausch chemisch ähnlicher Aminosäuren, wie z.
25 B. Glycin durch Alanin oder Serin durch Threonin.

Erfindungsgemäß sind auch die den kodierenden Bereichen (Strukturgenen) vorausgehenden (5'-oder upstream) und/oder nachfolgenden (3'-oder downstream) Sequenzbereiche eingeschlossen. Insbesondere sind hierin Sequenzbereiche mit
30 regulatorischer Funktion inbegriffen. Sie können die Transkription, die RNA-Stabilität oder das RNA Processing sowie die Translation beeinflussen. Beispiele

für regulatorische Sequenzen sind u. a. Promotoren, Enhancer, Operatoren, Terminatoren oder Translationsverstärker.

Unter die jeweiligen Enzyme fallen auch Isoformen, die als Enzyme mit gleicher oder vergleichbarer Substrat- und Wirkungsspezifität verstanden werden, die jedoch eine unterschiedliche Primärstruktur aufweisen.

Unter modifizierten Formen sind erfindungsgemäß Enzyme zu verstehen, bei denen Änderungen in der Sequenz, beispielsweise am N- und/oder C-Terminus des Polypeptids oder im Bereich konservierter Aminosäuren vorliegen, ohne jedoch die Funktion des Enzyms zu beeinträchtigen. Diese Veränderungen können in Form von Aminosäureaustauschen nach bekannten Methoden vorgenommen werden.

Vorteilhafterweise handelt es sich bei dem Zucker-Transportsystem um den Glukosefacilitator (GLF) gemäß Nukleotidsequenz Nr. 1, der bevorzugterweise aus einem Eukaryonten z. B. einer Hefe stammt. Bevorzugterweise kann auch der GLF aus *Zymomonas mobilis* eingesetzt werden, der von T. Conway et al (Journal of Bacteriology, Dec. 1990, p. 7227 - 7240) kloniert wurde.

20

Aus der Deutschen Patentanmeldung 198 18 541.3 ist zwar ein Verfahren zur Herstellung von Substanzen aus dem aromatischen Stoffwechsel bekannt, bei dem ein Mikroorganismus eingesetzt wird, der eine erhöhte Aktivität eines Glukose-oxidierenden Enzyms aufweist und Glukose oder Glukose-haltige Substrate durch Oxidation zu Glukonolakton oder Glukonat sowie durch Phosphorylierung des Glukonats zu 6-Phosphoglukonat umgesetzt, wobei neben der Erhöhung der Enzymaktivität der Oxidase und / oder der Phosphatase zur Erhöhung der vorhandenen Menge PEP die Aktivität eines PEP-unabhängigen Glukose-Transportproteins erhöht werden, bei dem es sich um den Glukosefacilitator (GLF) aus *Zymomonas mobilis* handeln kann. Ein Verfahren zur Herstellung von Mannitol ist allerdings daraus nicht zu entnehmen.

30

Der GLF kann neben Fructose auch Glukose oder Xylose transportieren, wovon insbesondere Glukose als preiswerter Fructose-Vorläufer interessant ist. Die

Glukose kann, wie noch beschrieben werden wird, in Fructose umgewandelt werden.

Die für MDH codierende Sequenz aus Mikroorganismen der Familie der Lactobacteriaceae, insbesondere *Leuconostoc pseudomesenteroides* eignet sich besonders für die Umsetzung zu D-Mannitol aufgrund der hohen Aktivität und Stabilität der daraus synthetisierten MDH.

Bevorzugt exprimiert der Organismus die Sequenz Nr. 2 codierend für MDH.

Als Organismus eignen sich besonders Mikroorganismen aus der Gattung *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, den Enterobacteriaceae oder methylo trophen Hefen und Pilzen. Weiterhin können auch alle in der Lebensmittelindustrie verwendeten Mikroorganismen eingesetzt werden.

Besonders bevorzugt stammt der eingesetzte Organismus aus der Gruppe *Achromobacter parvulus*, *Methylobacterium organophilum*, *Mycobacterium formicum*, *Pseudomonas spec. 101*, *Pseudomonas oxalaticus*, *Moraxella sp.*, *Agrobacterium sp.*, *Paracoccus sp.*, *Ancylobacter aquaticus*, *Maxcobacterium vaccae*, *Pseudomonas fluorescens*, *Rhodobacter sphaeroides*, *Rhodobacter capsulatus*, *Lactobacillus sp.*, *Lactobacillus brevis*, *Leuconostoc pseudomesenteroides*, *Glucobacter oxydans*, *Candida boidinii*, *Candida methylica* oder auch *Hansenula polymorpha*, *Aspergillus nidulans* oder *Neurospora crassa* oder insbesondere *Escherichia coli* oder *Bacillus subtilis*.

Die Analyse der D-Mannitol-Konzentration kann enzymatisch / photometrisch nach der Methode von K. Horikoshi (Horikoshi K. (1963) Meth. Enzym. Analysis, 3rd ed. Vol.6. H. U. Bergmeyer, Hrsg., Verlag Chemie, Weinheim), oder durch Hochdruck-Flüssigkeits-Chromatographie (HPLC) erfolgen, so wie bei Lindroth et al. (Lindroth et al. (1979) Analytical Chemistry 51: 1167-1174) beschrieben.

Zur Etablierung eines Oxidations-Reduktionszyklus kann eine Formiat-Dehydrogenase (FDH) codierende Sequenz eingesetzt werden. Vorzugsweise stammt diese aus *Mycobacterium vaccae* und besitzt eine Nukleotidsequenz gemäß Sequenz Nr. 3. Diese ist für sich gesehen aus K. Soda et al, Appl. Microbiol. Biotechnol (1995) 44, 479-483 bekannt.

Hierdurch wird eine erhebliche Steigerung der Ausbeute bzw. der Umsatzrate des Substrates Fructose zu Mannitol durch Schaffung eines Cofaktor-Regenerationssystems ermöglicht. Dabei wird nicht mehr das Substrat für die Bereitstellung der für die Reduktion von Fructose zu Mannitol notwendigen Reduktionsäquivalente verbraucht, sondern durch ein zweites Enzymsystem bereitgestellt. Folglich steht das Coenzym NADH in erhöhtem Maße für die Umsetzung zu Mannitol zur Verfügung. Eines der am häufigsten eingesetzten Systeme ist die Regenerierung mit einer Formiat-Dehydrogenase, z. B. aus *Mycobacterium vaccae*. Durch den Einsatz dieses Enzyms zusammen mit einer beliebigen MDH, bevorzugt aus *Leuconostoc pseudomesenteroides*, wird ein Oxidations-Reduktionszyklus geschaffen, in dem Formiat als Elektronendonator und D-Fructose als Elektronenakzeptor fungiert. Dabei katalysiert das Enzym Formiat-Dehydrogenase die Oxidation von Formiat zu CO_2 und das Enzym MDH die Reduktion von D-Fructose zu D-Mannitol (s. Fig. 1). Der intrazelluläre Nicotinsäureamid-Adenin-Dinucleotid (NAD)-Pool dient als Elektronen-Shuttle zwischen beiden Enzymen. Die Oxidation von Formiat zu CO_2 ist thermodynamisch günstig, da die freie Standardbildungsenergie ΔG^0 für CO_2 deutlich negativ ist und das CO_2 durch Ausgasen aus dem Reaktionsgleichgewicht entfernt wird. Die erhöhte intrazelluläre NADH-Konzentration, resultierend u. a. aus der Formiatoxidation, steigert die Reduktionskraft für die Reduktion von D-Fructose zu D-Mannitol, katalysiert durch MDH.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird neben den bereits genannten Kohlenstoffquellen als Substrat für die Herstellung D-Glucose eingesetzt. D-Glucose kann durch Umwandlung mit dem Enzym D-Glucose/Xylose-Isomerase (EC 5.3.1.5) zu D-Fructose umgewandelt werden (2). Die Umwandlung ist sowohl innerhalb als auch außerhalb des Organismus möglich. Der Einsatz von D-Glucose als Substrat in einem Verfahren zur Produktion von D-Mannitol bewirkt eine deutliche Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens.

Für das beschriebene Verfahren eignen sich nicht nur Mikroorganismen, in die eine Formiat-Dehydrogenase und eine MDH eingebracht und/oder verstärkt wird, sondern auch Mikroorganismen, die bereits über eine Formiat-Dehydrogenase oder gegebenenfalls eine MDH verfügen, wie z. B. *Achromobacter parvulus*, *Methylobacterium organophilum*, *Mycobacterium formicum*, *Pseudomonas spec.* 101, *Pseudomonas oxalaticus*, *Moraxella sp.*, *Agrobacterium sp.*, *Paracoccus*

sp., *Ancylobacter aquaticus*. Dazu gehören Mikroorganismen wie z.B. *Pseudomonas fluorescens*, *Rhodobacter sphaeroides*, *Rhodobacter capsulatus*, *Lactobacillus* sp., *Lactobacillus brevis*, *Gluconobacter oxydans* sowie bevorzugt auch *Leuconostoc pseudomesenteroides* oder Mikroorganismen, die bereits über beide Enzyme verfügen und jeweils in ihrer Aktivität verstärkt werden. Weiterhin
5 geeignet sind beispielsweise auch methylotrophe Hefen wie *Candida boidinii*, *Candida methylica* oder auch *Hansenula polymorpha*, Pilze wie *Aspergillus nidulans* und *Neurospora crassa* sowie alle auch in der Lebensmittelindustrie verwendeten Mikroorganismen.

10

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und dem Mikroorganismus ist es nunmehr möglich, eine verbesserte Umsetzung des Substrates in das Produkt D-Mannitol zu erreichen. Es wird gegenüber bisher bekannten Verfahren eine erhöhte Produktivität, sowie eine erhöhte Ausbeute (bis zu 100 %) an D-Mannitol
15 erreicht. Es wurden schon Konzentrationen bis zu 40 g/L erzielt. Das Verfahren ist daher für eine großtechnisch rentable Herstellung von D-Mannitol besonders geeignet. Durch die Schaffung des Regenerationssystems mit Hilfe der Formiat-Dehydrogenase kann für die NADH verbrauchende MDH in erhöhtem Maße ohne eine nachteilige Bildung von stoffwechselbedingten Nebenprodukten mit ruhenden Zellen eine erhöhte Umsetzung des Substrates in das Produkt D-Mannitol
20 ermöglicht werden.

25

Unter die Erfindung fallen auch die Verwendung von Nukleotidsequenzen gemäß Sequenzen Nr. 1, 2 und 3 codierend für GLF, MDH und FDH zur Verwendung in einem der oben beschriebenen Mikroorganismen.

Ebenso umfasst die Erfindung eine Genstruktur enthaltend mindestens eine oder mehrere der obigen Nukleotidsequenzen.

30

Ein Vektor enthaltend mindestens eine oder mehrere der obigen Nukleotidsequenzen oder eine oder mehrere der vorgenannten Genstrukturen ist ebenfalls in der Erfindung enthalten.

Die Erfindung umfasst auch die Verwendung der vorgenannten Nukleotidsequenzen, Genstrukturen und Vektoren in den beschriebenen Mikroorganismen

bzw. Mikroorganismen, die diese Nukleotidsequenzen, Genstrukturen und Vektoren enthalten.

Die Zeichnungen zeigen beispielhaft Ergebnisse des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie eine schematische Darstellung der wichtigsten Stoffwechselwege, die für das Verfahren eine Rolle spielen. Es zeigt:

Fig. 1: Oxidoreduktionszyklus mit Formiat-Dehydrogenase und MDH schematisch in einer Zelle.

10 **Fig. 2:** Ableitung einer degenerierten 24 Basen-Oligonukleotid-Sonde von der N-terminalen Aminosäuresequenz der MDH Untereinheit von *Leuconostoc pseudomesenteroides* ATCC 12291.

15 **Fig. 3:** Genkarte des 4,191 bp Eco RI Fragments isoliert aus der genomischen DNA-Plasmidbank von *Leuconostoc pseudomesenteroides* ATCC 12291 nach Immuno-Screening des *mdh*-Gens. Die Pfeile zeigen die Richtung der Translation des *mdh* ORF sowie 4 ORFs an.

Sequenz Nr. 1 zeigt die Nukleotidsequenz codierend für GLF aus *Zymomonas mobilis*.

20 **Sequenz Nr. 2** zeigt die Nukleotidsequenz codierend für MDH aus *Leuconostoc pseudomesenteroides*.

Sequenz Nr. 3 zeigt die Nukleotidsequenz codierend für FDH aus *Mycobacterium vaccae* N10.

Im Folgenden soll die Erfindung beispielhaft beschrieben werden.

l) **Mannitol-2-Dehydrogenase aus *Leuconostoc pseudomesenteroides* ATCC 12291: Reinigung und Charakterisierung des Enzyms; Klonierung und funktionelle Expression des *mdh*-Gens in *Escherichia coli***

5

a) Bakterienstämme und Plasmide

Als Quelle für die Isolierung der MDH wurde *Leuconostoc pseudomesenteroides* ATCC 12291 eingesetzt. *E. coli* JM 109 (DE 3) (Promega) diente als Wirtsorganismus zur Herstellung einer partiellen Plasmidbank für die Isolierung der genomischen DNA aus *Leuconostoc pseudomesenteroides* ATCC 12291. Ein Teil der Plasmidbank wurde durch Ligation eines 4.0 – 4.5 kb *Eco* RI Fragments genomischer DNA aus *Leuconostoc pseudomesenteroides* ATCC 12291 in pUC18 hergestellt.

15 b) Kultivierungsbedingungen

Zur Kultivierung von *Leuconostoc pseudomesenteroides* ATCC 12291 wurde folgendes Kultivierungsmedium verwendet:

Trypton 10 g/l, Hefeextrakt 10 g/l, K_2HPO_4 10 g/l, D-Fructose 20 g/l, D-Glucose 10 g/l, Vitamin / Mineral-Lösung 10 ml/l, in destilliertem Wasser; pH-Wert auf 7,5 unter Verwendung von Ortho-Phosphorsäure.

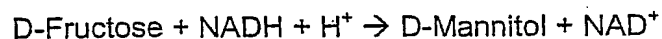
Zur Subklonierung und Präparation der Plasmidbank der genomischen *Leuconostoc* DNA, wurde *E. coli* JM109(DE 3) mit 170 Upm bei 37°C in Luria-Bertani Medium unter Zusatz von Ampicillin (100 µg/ml) oder Carbenicillin (50 µg/ml) kultiviert.

25

c) Bestimmung der Aktivität von MDH aus *Leuconostoc pseudomesenteroides* ATCC 12291

Die Enzymaktivität wird in der vorliegenden Erfindung photometrisch über die Abnahme der NADH-Konzentration für die Reduktionsreaktion

30



bestimmt. Der Ansatz zur Messung der Aktivität der MDH enthielt 200 µM NADH und 200 mM D-Fructose in 100 mM Kaliumphosphat-Puffer bei pH 6,5. Die spezifischen Aktivitäten der Rohextrakte und der partiell gereinigten Enzymisolate werden als Units pro Milligramm Protein (U/mg) angegeben, wobei 1 U als 1 µmol Substratabnahme pro Minute definiert wird.

d) Bestimmung der Proteinkonzentrationen

Alle Proteinkonzentrationsbestimmungen wurden nach der Methode von Bradford durchgeführt.

e) Auftrennung von Proteinen mittels Polyacrylamidgelelektrophorese

Reinheitsanalysen von Rohextrakten und partiell gereinigten Enzymisolaten, sowie Präparationen vorbereitend auf Western-Blots wurden elektrophoretisch in diskontinuierlichen 12 %igen SDS-Polyacrylamidgelen durchgeführt nach der Methode von Lämmli.

f) Isolierung der Mannitol-2-Dehydrogenase aus *Leuconostoc pseudomesenteroides* ATCC 12291

Zur Isolierung der Mannitol-2-Dehydrogenase wurden nach einem Zellaufschluß folgende Verfahrensschritte durchgeführt: Ammoniumsulfat-Präzipitation, Hydrophobe Interaktionschromatographie, Anionentauscherchromatographie I, Anionentauscherchromatographie II, Größenausschlusschromatographie, sowie ein Chromato-focusing pH 5 – 4.

Die spezifische Aktivität der MDH betrug bei pH = 5,35 für die Reduktion von D-Fructose zu D-Mannitol 450 U/mg

g) Molekulargenetische Methoden

Die Isolierung von genomischer DNA aus *Leuconostoc pseudomesenteroides* ATCC 12291, die Isolierung von DNA-Fragmenten aus Agarosegelen, die Markierung von DNA-Sonden mit Digoxigenin modifiziertem dUTP und immunologische Detektion und DNA-DNA-Hybridisierung (Southern Blot) wurden durchgeführt.

Die aminoterminalen Ansequenzierung der 43 kDa-Enzymuntereinheit mittels Edman-Abbau und anschließender HPLC-Analyse ergab die oktamere Aminosäureabfolge MEALVLTG. Unter Verwendung einer Codon usage-Statistik für *Leuconostoc pseudomesenteroides*, wurde eine 2048fach degenerierte Oligonukleotid-Sonde zur Detektion des Mannitol-2-Dehydrogenase-Gens an genomischer DNA von *Leuconostoc pseudomesenteroides* ATCC 12291 abgeleitet (siehe Fig. 2). Die 24 bp-DNA-Sonde wurde mit einem Digoxigenin-11-dUTP-Schwanz am 3'-Ende versehen und diente zum Immuno-Screening von partiellen Plasmidbanken genomischer DNA von *L. pseudomesenteroides* ATCC 12291. Auf diesem Wege wurde ein 4,2 kb-DNA-Fragment isoliert (Fig. 3). Mit geeigneten Primern wurde das *mdh*-Gen von diesem Fragment amplifiziert, in den Vektor pET24a(+) ligiert und in *E. coli* BL21(DE3) transformiert und exprimiert. Zellextrakte von *E. coli* BL21(DE3)pET24a(+)*Lmdh* zeigten nach Induktion in der SDS-Polyacrylelektrophorese eine starke Überexpressionsbande bei 43 kDa und eine spezifische Aktivität der Mannitol-2-Dehydrogenase von 70 U/mg Protein, während die Kontrollen (Zellen ohne Plasmid, Zellen mit leerem Plasmid) keine Aktivität zeigten.

Die Nukleotidsequenz des *mdh*-Gens aus *L. pseudomesenteroides* ATCC 12291 ist in Sequenz Nr. 2 gezeigt.

II) Biotransformation von D-Fructose zu D-Mannitol mit einem rekombinanten *E. coli*-Stamm

In einem rekombinanten *E. coli*-Stamm wurden die Enzyme Formiat-Dehydrogenase (EC 1.2.1.2) und Mannitol-2-Dehydrogenase (EC 1.1.1.67) überexprimiert, um in den Zellen einen Oxidations-Reduktionszyklus zu etablieren. In diesem Oxidations-Reduktionszyklus wird Wasserstoff von Formiat über zelluläres NAD⁺ auf D-Fructose übertragen, wobei D-Fructose zu D-Mannitol reduziert wird (s. Fig. 1). Zusätzlich wurde in den Zellen der Glukosefacilitator exprimiert, um die Verfügbarkeit des Substrats Fructose zu verbessern.

(a) Stämme und Vektoren

Es wurden die Stämme *E. coli* BL21 (DE3) Star (Invitrogen) verwendet. Als Vektoren wurden pET-24a(+)*fdh/mdh*, kodierend für den ORF der Formiat-

Dehydrogenase aus *Mycobacterium vaccae*, der Mannitol-2-Dehydrogenase aus *Leuconostoc pseudomesenteroides* und pZY507*glf* kodierend für den Glukosefascillator aus *Zymomonas mobilis* verwendet.

5 Für die Biotransformation wurden chemisch kompetente *E. coli* BL21 (DE 3) Star mit pET-24a(+)*fdh/mdh* und pZY507*glf* kotransformiert und auf LB-Agarplatten mit 25 µg/ml Chloramphenicol und 30 µg/ml Kanamycin selektiert. Als Kontrollen wurden *E. coli* BL21 (DE 3) Star entweder mit pET-24a(+)*fdh/mdh* oder pZY507*glf* allein transformiert. Die Selektion der Transformanten erfolgte auf LB-Agarplatten mit entweder 25 µg/ml Chloramphenicol (pZY507*glf*) oder mit 50
10 µg/ml Kanamycin (pET-24a(+)*fdh/mdh*). LB-Agarplatten für *E. coli* BL21 (DE 3) Star transformiert mit p pET-24a(+)*fdh/mdh* enthielten zusätzlich 1% (v/v) D-Glucose zur Verminderung der Basalexpression der Mannitol-2-Dehydrogenase und der Formiat-Dehydrogenas.

15 (b) Biotransformation

Nach der Überexpression von FDH, MDH und GLF in *E. coli*, werden nicht wachsende Zellen in einer Biotransformation eingesetzt. Je 1,0 g induzierte Zellen von *E. coli* BL21 (DE 3) Star pET-24a(+)*fdh/mdh* / pZY507*glf* wurden mit 100 mM Kaliumphosphat-Puffer pH 7,0 gewaschen und in 50 ml Reaktionslösung mit 500
20 mM D-Fructose und 500 mM Natriumformiat in 100 mM Kaliumphosphat-Puffer pH 6,7 resuspendiert. Die Ansätze wurden in 100 ml-Kolben ohne Schikane bei 100 - 120 Upm und 30°C für 24 h geschüttelt. Zu den Zeitpunkten 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 17 und 23 h nach Reaktionsstart wurden 1 - 2 ml-Proben des Überstandes genommen zur Messung der Konzentrationen von Formiat, D-Fructose und D-
25 Mannitol. Die Proben wurden bei 5000g für 1 min zentrifugiert, der Überstand 0,2 µm-filtriert und bis zur Messung durch HPLC bei -20°C gelagert. Als Kontrolle wurden 1,0 g nicht induzierte Zellen von *E. coli* BL21 (DE 3) Star pET-24a(+)*fdh/mdh* / pZY507*glf* in gleicher Weise in der Biotransformation eingesetzt.

30 Die Konzentrationsbestimmungen von Formiat, D-Fructose und D-Mannitol im Reaktionsüberstand und im zellfreien Rohextrakt wurden mit einer HPLC-Anlage (Merck/Hitachi) durchgeführt.

Tabelle 1 zeigt beispielhaft Ergebnisse, die mit transformierten Mikroorganismen erreicht werden konnten.

Es konnte gezeigt werden, dass die parallele Überexpression der Formiat-Dehydrogenase und der Mannitol-2-Dehydrogenase und des Glukosefacilitators in *E. coli* zu einer sehr hohen Produktion von D-Mannitol durch diese Zellen in einem Reaktionsmedium mit D-Fructose und Formiat führt. Die bis zu 244 mM Mannitol nach 23 h stehen dem Verfahren ohne GLF mit nur 15 mM nach 17 h und dem Verfahren ohne FDH mit 20 mM nach 17 h gegenüber. Es konnte also eine ca. 12 - 15-fache Verbesserung erzielt werden.

Tabelle 1

rekombinante Gene	Bedingungen	Mannitol-Produktion [mM]	Fructose-Verbrauch [mM]	Formiat-Verbrauch [mM]
fdh / mdh / glf	+ IPTG / +Formiat / 23 h	244	332	471
fdh / mdh / glf	- IPTG / + Formiat / 17 h	0	n.d.	n.d.
fdh / mdh / glf	+ IPTG / -Formiat / 17 h	11	76	n.d.
mdh / glf	+ IPTG / + Formiat / 17 h	20	48	81
mdh / glf	- IPTG / + Formiat / 17 h	0	n.d.	n.d.
fdh / mdh	+ IPTG / + Formiat / 17 h	15	61	159
fdh / mdh	- IPTG / + Formiat / 17 h	0	n.d.	n.d.
mdh	+ IPTG / + Formiat / 17 h	0	57	35
mdh	- IPTG / + Formiat / 17 h	0	n.d.	n.d.
fdh / glf	+/- IPTG / + Formiat / 17 h	0	n.d.	n.d.
fdh	+/- IPTG / + Formiat / 17 h	0	n.d.	n.d.
glf	+/- IPTG / + Formiat / 17 h	0	n.d.	n.d.

SEQUENZ Nr. 1:

ATGAGTTCTGAAAGTAGTCAGGGTCTAGTCACGCGACTAGCCCTAATCGCTGCTA
TAGGCGGCTTGCTTTTTCGGTTACGATTACGCGGTTATCGCTGCAATCGGTACACC
5 GGTGATATCCATTTTATTGCCCTCGTCACCTGTCTGCTACGGCTGCGGCTTCC
CTTTCTGGGATGGTCGTTGTTGCTGTTTTGGTCGGTTGTGTTACCGGTTCTTTGC
TGTCTGGCTGGATTGGTATTCGCTTCGGTCGTCGCGGCGGATTGTTGATGAGTTC
CATTTGTTTCGTCGCCGCCGGTTTTTGGTGCTGCGTTAACCGAAAAATTATTGGA
ACCGGTGGTTCGGCTTTACAAATTTTTTGCTTTTTCCGGTTTCTTGCCGGTTTAG
10 GTATCGGTGTCGTTTTCAACCTTGACCCCAACCTATATTGCTGAAATTCGTCCGCC
AGACAAACGTGGTCAGATGGTTTCTGGTCAGCAGATGGCCATTGTGACGGGTGCT
TTAACCGGTTATATCTTTACCTGGTTACTGGCTCATTTCCGGTTCTATCGATTGGG
TTAATGCCAGTGGTTGGTGCTGGTCTCCGGCTTCAGAAGGCCTGATCGGTATTGC
CTTCTTATTGCTGCTGTTAACCGCACCGGATACGCCGCATTGGTTGGTGATGAAG
15 GGACGTCATTCCGAGGCTAGCAAAATCCTTGCTCGTCTGGAACCGCAAGCCGATC
CTAATCTGACGATTCAAAGATTAAAGCTGGCTTTGATAAAGCCATGGACAAAAG
CAGCGCAGGTTTGTGTTTTGGTATCACCGTTGTTTTTGCCGGTGTATCCGTT
GCTGCCTTCCAGCAGTTAGTCGGTATTAACGCCGTGCTGTATTATGCACCGCAGA
TGTTCCAGAATTTAGGTTTTGGAGCTGATACGGCATTATTGCAGACCATCTCTAT
20 CGGTGTTGTGAACTTCATCTTCACCATGATTGCTTCCCGTGTTGTTGACCGCTTC
GGCCGTAAACCTCTGCTTATTTGGGGTGCTCTCGGTATGGCTGCAATGATGGCTG
TTTTAGGCTGCTGTTTCTGGTTCAAAGTCGGTGGTGTGTTTTGCCTTTGGCTTCTGT
GCTTCTTTATATTGCAGTCTTTGGTATGTCATGGGGCCCTGTCTGCTGGGTGTT
CTGTCAGAAATGTTCCCGAGTTCCATCAAGGGCGCAGCTATGCCTATCGCTGTTA
25 CCGGACAATGGTTAGCTAATATCTTGGTTAACTTCCTGTTTAAAGGTTGCCGATGG
TTCTCCAGCATTGAATCAGACTTTCAACCACGGTTTCTCCTATCTCGTTTTTCGCA
GCATTAAGTATCTTAGGTGGCTTGATTGTTGCTCGCTTCGTGCCGGAAACCAAAG
GTCGGAGCCTGGATGAAATCGAGGAGATGTGGCGCTCCAGAAAGTAG

SEQUENZ Nr. 2:

TTAATATTCTATCACATGGTCTACTCCCCTTACTAAAATAAATGTGATAAACGTT
TGACTTTATCTTGTTAAAGGTTTACCATTGTCCTCGTAAGTTAATTTAATCACAA
5 AGTAAAAAGGAGAACAAAC

ATGGAAGCACTTGTGTAACTGGTACAAAAAATTAGAGGTTGAAAACATTGAAC
AACCTGAGGTAAAGCCGAATGAAGTGTTGATTTCATACAGCATTTCGCTGGTATTTG
CGGTACTGATCACGCTTTGTATGCCGGTCTTCCTGGCTCAGCCGATGCTGTGCCA
10 CCAATCGTTTTGGGGCATGAAAATTCTGGTGTTGTAGCTGAAATTGGTTCTGATG
TTACAAACGTTGCGGTGGGTGATCGTGTCACAATTGATCCCAATATTTACTGTGG
TCAATGCAAGTATTGCCGTACAGCACGTCCAGAGCTTTGCGAAAACCTTGTCTGCA
GTTGGTGTAACACGCAATGGTGGCTTTGAAGAATACTTTACTGCGCCCGCATCAG
TTGTTTACCAAATTCCAGATAATGTTTCACTTAAGTCAGCTGCCGTGGTTGAGCC
15 GATTTTCATGTGCTGTTTACGGTATTCAACTTCTTAAAGTGACACCATAACAAAAG
GCATTAGTTATTGGTGACGGCTTCATGGGTGAACTCTTTGTTCAAATTCTGCAAG
CTTATGGCATTACCAAGTCGACTTGGCTGGTATTGTTCTTGAAAAGCTTGCTAT
GAACAAAGAAAAGTTTCGGCGTGAAAAATACGTACAATACAAAAGATGGCGACAAA
ATTCCCGAAGGCACTTACGATGTTGTTGTTGAAGCAGTTGGCCTACCACAGACAC
20 AAGAAGCCGCAATTGAAGCCTCAGCTCGTGGCGCTCAGGTTTTGATGTTTGGTGT
TGGCGGTCCCGACGCAAAGTTCCAAATGAACACTTACGAAGTCTTCCAAAAGCAA
TTGACGATTCAAGGATCATTTATCAATCCAAACGCATTTGAAGACTCATTGGCAT
TGTTATCATCAGGCAAGTTAGACGTCGAATCGCTAATGTCACACGAATTAGATTA
CCAGACTGTTGATGACTTTGTGAATGGCAAGTTAGGTGTCGTTTCAAAGGCAGTC
25 GTTAAGGTTGGTGGCGAAGAGGCATAA

SEQUENZ Nr. 3:

atggcaaaggtcctgtgcggttctttacgatgatccggtcgacggctacccgaa-
gacctatgcccgcgacgatcttccgaa
5 gatcgaccactatccgggcccagatcttgccgacgcccgaaggccatcgactt-
cacgcccgggcagttgctcgggtccgtctccggcgagctcggcctgcgcgaa-
tatctcgaatccaacggccacaccctggtcgtgacctccgacaaggacggcccc-
gactcgggtgttcgagcgcgagctgggtcgatgcggatgtcgtcatctcc-
cagcccttctggccggcctatctgacgcccgcgcatcgccaaggccaa-
10 gaacctgaagctcgcgctcaccgcccgcgcatcggttccgaccacgtcgatctt-
cagtcgggtatcgaccgcaacgtcaccgtggcgggaagtcacctactgcaactc-
gatcagcgtcgcgagcatgtggtgatgatgatcctg
tcgctggtgcgcaactatctgccctcgcacgaatgggcgcggaagggcggctg-
gaacatcgccgactgcgtctcccacgcctacgacctcgaggcgatgcatgtcgg-
15 caccgtggccgcggcccg-
catcgggtctcgcgggtgctgcgccgtctggcgccgttcgacgtgcacctgcacta-
caccgaccgtcaccgcctgcgggaatcggtcgagaaggagctcaacct-
cacctggcacgcgacccgcgaggacatgtatccggtttgcgacgtggtgacgct-
gaactgcccgctgcaccccgaaaccgagcacatgatcaatgacgagacgct-
20 gaagctgttcaagcgtggcgccctacatcgtaacaccgcccgcgg-
caagctgtgcgaccgcgatgccgtggcacgtgcgctc-
gaatccggccggctggccggctatgccggcgacgtgtggttcccg-
cagccggcgccgaaggaccaccctggcggaacgatgccctataacggcat-
gaccccgcacatctccggcaccacgctgaccgcgcaggcgcgttatgcggcggg-
25 caccgcgagatcctggagtgcttcttcgagggccgtccgatccgcgacgaa-
tacctcatcgtgcagggcggcgctcttgccggcaccggcgcgcatctcctactc-
gaagggcaatgccaccggcggttcggaagaggccgccaagttcaa-
gaaggcgggtctga

P a t e n t a n s p r ü c h e

- 5 1. Verfahren zur Produktion von D-Mannitol unter Einsatz Mannitol-2-Dehydrogenase (MDH) exprimierender Organismen, bei welchen die Zucker-Substrate und/oder Zucker-Substratvorläufer der MDH über ein nicht-phosphorylierendes Zucker-Transportsystem in den Organismus transportiert werden.
- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** Organismen, die als Zucker-Transportsystem den Glukosefacilitator (GLF) aus einem Eukaryonten enthalten, eingesetzt werden
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** Organismen, die als Zucker-Transportsystem den Glukosefacilitator (GLF) aus *Zymomonas mobilis* enthalten, eingesetzt werden.
- 15 4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** Organismen, die die Sequenz Nr. 1 codierend für GLF enthalten, eingesetzt werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Zucker Glukose und/oder Fructose eingesetzt werden.
- 20 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** Organismen, die eine für eine MDH codierende Sequenz enthalten, eingesetzt werden
- 25 7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** Organismen, die eine für MDH codierende Sequenz aus Mikroorganismen der Familie der *Lactobacteriaceae*, insbesondere *Leuconostoc pseudomesenteroides* enthalten, eingesetzt werden.
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** Organismen, die die Sequenz Nr. 2 codierend für MDH enthalten, eingesetzt werden.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** Organismen, die eine für eine Formiat-Dehydrogenase (FDH) codierende Sequenz enthalten, eingesetzt werden.
- 5 10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** Organismen, die eine für FDH codierende Sequenz aus *Mycobacterium vaccae* enthalten, eingesetzt werden.
11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** Organismen, die die Sequenz Nr. 3 codierend für FDH enthalten, eingesetzt werden.
- 10 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Organismus ein Mikroorganismus eingesetzt wird.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** Mikroorganismen der Gattung *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, den Enterobakteriaceae oder methylo trophen Hefen und Pilzen eingesetzt werden.
- 15 14. Mikroorganismus, der die Enzyme MDH gemäß Sequenz Nr. 2 und FDH gemäß Sequenz Nr. 3 zur mikrobiellen Herstellung von D-Mannitol exprimiert und ein nicht-phosphorylierendes Zucker-Transportsystem aufweist, das die Zucker-Substrate und/oder Zucker-Substratvorläufer der MDH in den Mikroorganismus transportiert.
- 20 15. Mikroorganismus nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** es sich bei dem Zucker-Transportsystem um den Glukosefacilitator (GLF) aus einem Eukaryonten handelt.
16. Mikroorganismus nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** es sich bei dem Zucker-Transportsystem um den Glukosefacilitator (GLF) aus *Zymomonas mobilis* handelt.
- 25 17. Mikroorganismus nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Organismus die Sequenz Nr. 1 codierend für GLF aufweist.

18. Mikroorganismus nach einem der Ansprüche 14 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** er Glukose, Fructose oder Gemische hiervon zu D-Mannitol umsetzt.
- 5 19. Mikroorganismus nach einem der vorhergehenden Ansprüche 14 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** er eine für MDH codierende Sequenz aus Mikroorganismen der Familie der Lactobacteriaceae, insbesondere *Leuconostoc pseudomesenteroides* enthält.
- 10 20. Mikroorganismus nach einem der vorhergehenden Ansprüche 14 bis 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** er eine für FDH codierende Sequenz aus *Mycobacterium vaccae* enthält.
- 15 21. Mikroorganismus nach einem der vorhergehenden Ansprüche 14 bis 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** er aus der Gattung *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, den Enterobacteriaceae oder methylo trophen Hefen und Pilzen sowie aus allen auch in der Lebensmittelindustrie verwendeten Mikroorganismen stammt.
22. Verwendung eines Mikroorganismus nach einem der Ansprüche 14 bis 21 zur Herstellung von D-Mannitol.
23. Nukleotidsequenz gemäß Sequenz Nr. 1 codierend für GLF zur Verwendung in einem Mikroorganismus nach einem der Ansprüche 14 bis 21.
- 20 24. Nukleotidsequenz gemäß Sequenz Nr. 2 codierend für MDH zur Verwendung in einem Mikroorganismus nach einem der Ansprüche 14 bis 21.
- 25 25. Nukleotidsequenz gemäß Sequenz Nr. 3 codierend für FDH zur Verwendung in einem Mikroorganismus nach einem der Ansprüche 14 bis 21.
26. Genstruktur enthaltend mindestens eine oder mehrere Nukleotidsequenzen gemäß den Ansprüchen 23 bis 25.
27. Vektor enthaltend mindestens eine oder mehrere Nukleotidsequenzen gemäß Ansprüchen 23 bis 25 oder eine oder mehrere Genstrukturen gemäß Anspruch 26.

28. Verwendung einer Nukleotidsequenz gemäß einem der Ansprüche 23 bis 25 zur Transformierung eines Mikroorganismus nach einem der Ansprüche 14 bis 21.
29. Mikroorganismus nach einem der Ansprüche 14 bis 21 enthaltend mindestens eine Genstruktur gemäß Anspruch 26.
30. Mikroorganismus nach einem der Ansprüche 14 bis 21 enthaltend mindestens einen Vektor gemäß Anspruch 27.

Fig. 1

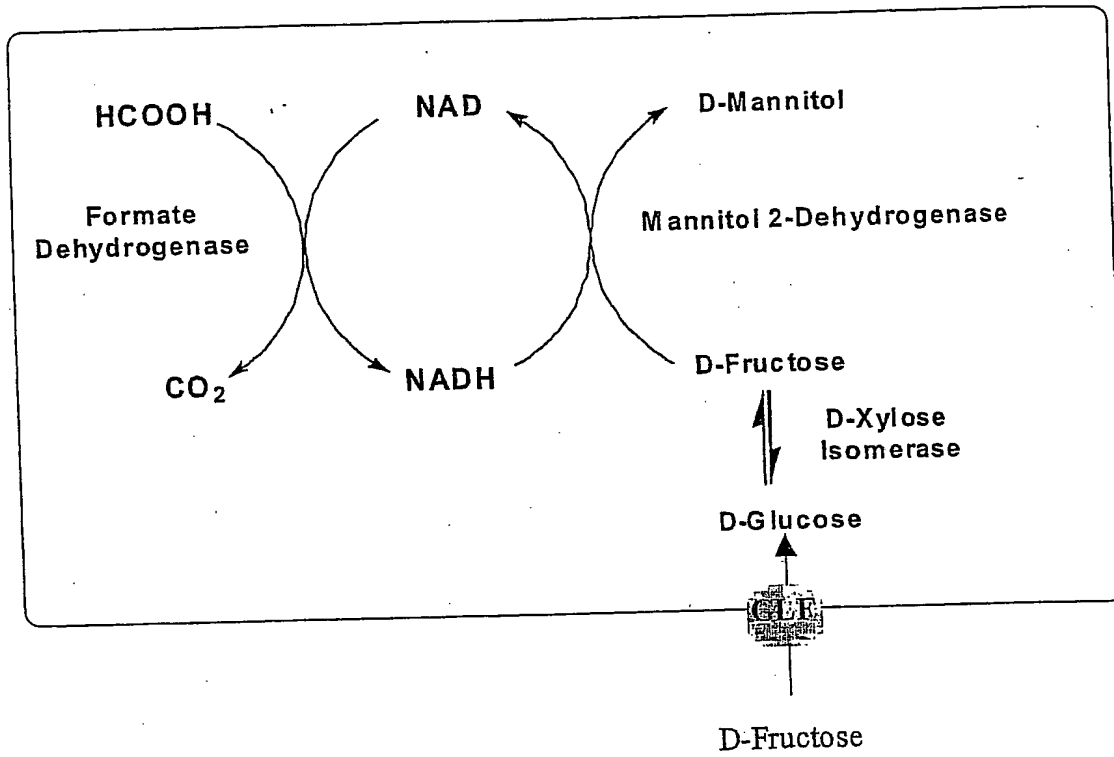


Fig. 2

5

10

Aminosäuresequenz

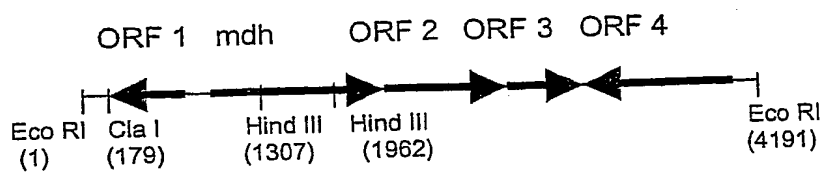
Degenerierte
Oligonucleotid-
sequenz

M	E	A	L	V	L	T	G
ATG	GAA	GCU	UUA	GUU	UUA	ACA	GGU
	G	A	G	A	G	U	C
		C		C		G	A
		G		G		C	G

15

Fig. 3

5



10

SEQUENZPROTOKOLL

<110> Institut für Technologie der Kohlenhydrate - Zuckerinstitut e.V.

<120> Verfahren sowie Mikroorganismus zur Herstellung von
D-Mannitol

<130> 7123

<140>

<141>

<160> 3

<170> PatentIn Ver. 2.1

<210> 1

<211> 1422

<212> DNA

<213> *Zymomonas mobilis*

<400> 1
atgagttctg aaagtagtca gggctctagtc acgcgactag ccctaatacgc tgctatagggc 60
ggcttgcttt tccggttacga ttcagcgggt atcgctgcaa toggtaacacc ggttgatatac 120
cattttattg cccctcgtca cctgtctgct acggctgcgg cttccctttc tgggatgggc 180
gttggttctg ttttggtcgg ttgtgttacc ggttctttgc tgtctggctg gattgggtatt 240
cgcttcgggc gtcgcggcgg attgttgatg agttccattt gtttcgtcgc cgccggtttt 300
gggtgctgcgt taaccgaaaa attatttgga accgggtgggt cggctttaca aattttttgc 360
tttttcgggt ttcttgccgg ttttaggtatc ggtgtcgttt caaccttgac cccaacctat 420
attgctgaaa ttogtccgcc agacaaacgt ggtcagatgg tttctgggtca gcagatggcc 480
attgtgacgg gtgctttaac cggttatatac tttacctggt tactgggtca tttcggttct 540
atcgattggg ttaatgccag tgggtgggtgc tgggtctccgg cttcagaagg cctgatcggg 600
attgccttct tattgctgct gttaaccgca ccggatacgc cgcattgggt ggtgatgaag 660
ggacgtoatt ccgaggctag caaaatcctt gctcgtctgg aaccgcaagc cgatccaat 720
ctgacgattc aaaagattaa agctggcttt gataaagcca tggacaaaag cagcgcagggt 780
ttgtttgctt ttggtatcac cgttggtttt gccggtgtat ccgttgctgc cttccagcag 840
ttagtcggta ttaacgccgt gctgtattat gcaccgcaga tgttccagaa tttagggttt 900
ggagctgata cggcattatt gcagaccatc tctatcgggt ttgtgaactt catcttcacc 960
atgattgctt cccgtgttgt tgaccgcttc ggccgtaaac ctctgottat ttgggggtgct 1020
ctcggtatgg ctgcaatgat ggctgtttta ggctgctgtt tctgggtcaa agtcgggtgg 1080
gttttgctt ttgcttctgt gcttctttat attgcagtct ttgggtatgtc atggggccct 1140
gtctgctggg ttgttctgtc agaaatgttc ccgagttoca tcaagggcgc agctatgcct 1200
atcgctgtta ccggacaatg gttagctaata atcttggtta acttctgtt taagggttgc 1260
gatggttctc cagcattgaa tcagactttc aaccacgggt tctctatct cgttttcgca 1320
gcattaagta tcttaggtgg cttgattggt gctcgtctcg tgccggaaac caaaggctcg 1380
agcctggatg aaatcgagga gatgtggcgc tcccagaagt ag 1422

<210> 2

<211> 1146

<212> DNA

<213> *Leuconostoc pseudomesenteroides*

<400> 2
ttaatattct atcacatgggt ctactccctt tactaaaata aatgtgataa acgttttgact 60
ttatcttggt aaagggttac cattgtcctc gtaagttaat ttaatcacia agtaaaaagg 120
agaacaaaaca tggaaagcact tgtgttaact ggtacaaaaa aattagaggt tgaacacatt 180
gaacaacctg aggtaaagcc gaatgaagt ttgattcata cagcattcgc tgggtatttgc 240
gggtactgatc acgctttgta tgccggtcct cctggctcag ccgatgctgt gccaccaatc 300
gttttggggc atgaaaattc tgggtgttga gctgaaattg gttctgatgt taaaaacgtt 360


```

gcgggtgggtg atcgtgtcac aattgatccc aatattttact gtggtcaatg caagtattgc 420
cgtacagcac gtccagagct ttgcgaaaac ttgtctgcag ttggtgtaac acgcaatggg 480
ggctttgaag aatacttttac tgcgcccgca tcagttgttt accaaattcc agataatgtt 540
tcacttaagt cagctgccgt gggtgagccg atttcatgtg ctgttcacgg tattcaactt 600
cttaaagtga caccatacca aaaggcatta gttattgggtg acggcttcat ggggtgaactc 660
tttgttcaaa ttctgcaagc ttatggcatt caccaagtgc acttgggtgg tattgttcct 720
gaaaagcttg ctatgaacaa agaaaagttc ggcgtagaaa atacgtacaa tacaaaagat 780
ggcgacaaaa ttcccgaagg cacttacgat gttgttgttg aagcagttgg cctaccacag 840
acacaagaag ccgcaattga agcctcagct cgtggcgctc aggttttcat gtttgggtgt 900
ggcggtcccc acgcaaagtt ccaaatgaac acttacgaag tcttccaaaa gcaattgacg 960
attcaaggat catttatcaa tccaaacgca tttgaagact cattggcatt gttatcatca 1020
ggcaagttag acgtcgaatc gctaattgtc cacgaattag attaccagac tggtgatgac 1080
tttgtgaatg gcaagttagg tgtcgtttca aaggcagtcg ttaaggttgg tggcgaagag 1140
gcataa
1146

```

<210> 3

<211> 1206

<212> DNA

<213> Mycobacterium vaccae N10

<400> 3

```

atggcacaagg tcctgtgcgt tctttacgat gatccggctg acggctaccc gaagacctat 60
gcccgcgacg atcttccgaa gatcgaccac tatccggggc gccagatctt gccgacgccg 120
aaggccatcg acttcacgcc cgggcagttg ctccggctcc tctccggcga gctcggcctg 180
cgcgaaatc tcgaatccaa cggccacacc ctggctcgtga cctccgacaa ggacggcccc 240
gactcgggtg tcgagcgcg gctgggtcgt gcggatgtcg tcatctccca gcccttcttg 300
ccggcctatc tgacgcccga gcgcacgcgc aaggccaaga acctgaagct cgcgctcacc 360
gcccggcatcg gttccgacca cgtcgatctt cagtcggcta tcgaccgcaa cgtcacctgt 420
gcggaagtca cctactgcaa ctogatcagc gtcgcccagc atgtgggtgat gatgatcctg 480
tcgctgggtg gcaactatct gccctcgcac gaatgggcgc ggaagggcgg ctggaacatc 540
gcccactgcg tctcccacgc ctacgacctc gaggcgatgc atgtcggcac cgtggccgcc 600
ggccgcatcg gtctcgcggg gctgcgcggt ctggcgccgt tcgacgtgca cctgcactac 660
accgaccgtc accgcctgcc ggaatcgggtc gagaaggagc tcaacctcac ctggcacgcg 720
acccgcgagg acatgtatcc ggtttgccgac gtggtgacgc tgaactgccc gctgcacccc 780
gaaaccgagc acatgatcaa tgacgagacg ctgaagctgt tcaagcgtgg cgcctacatc 840
gtcaacaccc cccgcggcaa gctgtgcgac cgcgatgccg tggcacgtgc gctcgaatcc 900
ggccgggtcg ccggctatgc cggcgacgtg tggttcccgc agccggcgcc gaaggaccac 960
ccctggcgga cgatgcccta taacggcatg accccgcaca tctccggcac cacgctgacc 1020
gcgcaggcgc gttatgcggc gggcacccgc gagatcctgg agtgcttctt cgagggccgt 1080
ccgatccgag acgaatacct catcgtgcag ggccggcgctc ttgcgggcac cggcgcgcat 1140
tctactcga agggcaatgc caccggcggt tcggaagagg ccgccaagtt caagaaggcg 1200
gtctga
1206

```

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Application No.

PCT/EP 03/11191

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 C12N9/04 C12P7/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 C12N C12P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, BIOSIS, PAJ, EMBL, EMBASE, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E	WO 03 095635 A (BRINGER-MEYER STEPHANIE ;WULLBRANDT DIETER (DE); HAHN GERALD (DE);) 20 November 2003 (2003-11-20) SEQ ID NO:1 example 2	1,5-9, 12-14, 18-22, 24,26-30
X	GROBBEN GERT J ET AL: "Spontaneous formation of a mannitol-producing variant of Leuconostoc pseudomesenteroides grown in the presence of fructose" APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY, vol. 67, no. 6, June 2001 (2001-06), pages 2867-2870, XP002264225 ISSN: 0099-2240 figure 1 page 2869, right-hand column -/--	1,5-7, 12,13

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- * & * document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

2 February 2004

Date of mailing of the international search report

17/02/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Schmitz, T

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inte nal Application No

PCT/EP 03/11191

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>WISSELINK H W ET AL: "Mannitol production by lactic acid bacteria: A review" INTERNATIONAL DAIRY JOURNAL, vol. 12, no. 2-3, 2002, pages 151-161, XP002268512 ISSN: 0958-6946 figure 2 page 158, right-hand column, last paragraph -page 159, left-hand column, last paragraph</p> <p>---</p>	1,5-7, 12,13
X	<p>SLATNER M ET AL: "ENZYMATIC PRODUCTION OF PURE D-MANNITOL AT HIGH PRODUCTIVITY" BIOCATALYSIS AND BIOTRANSFORMATION, HARWOOD ACADEMIC PUBL., BASEL, CH, vol. 16, no. 5, 1998, pages 351-363, XP008025540 ISSN: 1024-2422 cited in the application the whole document</p> <p>---</p>	1,5, 9-14, 18-22, 26-30
X	<p>BARNELL W O ET AL: "SEQUENCE AND GENETIC ORGANIZATION OF A ZYMOMONAS-MOBILIS GENE CLUSTER THAT ENCODES SEVERAL ENZYMES OF GLUCOSE METABOLISM" JOURNAL OF BACTERIOLOGY, vol. 172, no. 12, 1990, pages 7227-7240, XP002268513 ISSN: 0021-9193 cited in the application figure 5</p> <p>---</p>	23,26-30
P,X	<p>HAHN GERALD ET AL: "A zinc-containing mannitol-2-dehydrogenase from Leuconostoc pseudomesenteroides ATCC 12291: Purification of the enzyme and cloning of the gene." ARCHIVES OF MICROBIOLOGY, vol. 179, no. 2, pages 101-107, XP002264226 ISSN: 0302-8933 (ISSN print) the whole document</p> <p>---</p>	24,26,27
X	<p>AARNIKUNNAS J ET AL: "The mannitol dehydrogenase gene (mdh) from Leuconostoc mesenteroides is distinct from other known bacterial mdh genes" APPLIED MICROBIOLOGY AND BIOTECHNOLOGY, vol. 59, no. 6, September 2002 (2002-09), pages 665-671, XP002268515 ISSN: 0175-7598 figure 1 "Nucleotide sequence accession number" page 667, left-hand column, paragraph 5</p> <p>---</p> <p>---/---</p>	24,26,27

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Application No.

PCT/EP 03/11191

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>DATABASE EMBL 'Online! 2 July 2002 (2002-07-02) AARNIKUNNAS J. ET AL.: "Leuconostoc mesenteroides mannitol dehydrogenase gene, complete cds; and unknown gene. " retrieved from EBI Database accession no. AY090766 XP002268518 abstract</p> <p>---</p>	24, 26-30
X	<p>JP 10 023896 A (UNITIKA LTD) 27 January 1998 (1998-01-27) page 9 -page 10</p> <p>---</p>	25-30
X	<p>GALKIN A ET AL: "Cloning of formate dehydrogenase gene from a methanol-utilizing bacterium Mycobacterium vaccae N10" APPLIED MICROBIOLOGY AND BIOTECHNOLOGY, SPRINGER VERLAG, BERLIN, DE, vol. 44, 1995, pages 479-483, XP002192090 ISSN: 0175-7598 cited in the application figure 1</p> <p>---</p>	25-30
A	<p>PARKER C ET AL: "CHARACTERIZATION OF THE ZYMOMONAS MOBILIS GLUCOSE FACILITATOR GENE PRODUCT (GLF) IN RECOMBINANT ESCHERICHIA COLI: EXAMINATION OF TRANSPORT MECHANISM, KINETICS AND THE ROLE OF GLUCOKINASE IN GLUCOSE TRANSPORT" MOLECULAR MICROBIOLOGY, BLACKWELL SCIENTIFIC, OXFORD, GB, vol. 15, no. 5, 1 March 1995 (1995-03-01), pages 795-802, XP002054312 ISSN: 0950-382X page 796, left-hand column, paragraph 1</p> <p>---</p>	
A	<p>KORNBERG HANS L ET AL: "Facilitated diffusion of fructose via the phosphoenolpyruvate/glucose phosphotransferase system of Escherichia coli" PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES, vol. 97, no. 4, 15 February 2000 (2000-02-15), pages 1808-1812, XP002268516 Feb. 15, 2000 ISSN: 0027-8424 page 1812, left-hand column, last paragraph -right-hand column, last line</p> <p>---</p> <p>-/--</p>	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/11191

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
T	<p>KAUP B., BRINGER-MEYER S., SAHM H.: "Metabolic engineering of Escherichia coli: construction of an efficient biocatalyst for d-mannitol formation in a whole-cell biotransformation" APPLIED MICROBIOLOGY AND BIOTECHNOLOGY (E-PUB AHEAD OF PRINT), 'Online! 28 October 2003 (2003-10-28), XP002268517 Retrieved from the Internet: <URL:http://www.springerlink.com/app/home/main.asp?wasp=2pwgplqtqh76181kvrt0> 'retrieved on 2004-01-27! the whole document -----</p>	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int nal Application No

PCT/EP 03/11191

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
WO 03095635	A	20-11-2003	DE	10220848 A1	04-12-2003
			WO	03095635 A2	20-11-2003
<hr/>					
JP 10023896	A	27-01-1998	NONE		
<hr/>					

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/11191

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 C12N9/04 C12P7/18

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 C12N C12P

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, BIOSIS, PAJ, EMBL, EMBASE, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
E	WO 03 095635 A (BRINGER-MEYER STEPHANIE ;WULLBRANDT DIETER (DE); HAHN GERALD (DE);) 20. November 2003 (2003-11-20) SEQ ID NO:1 Beispiel 2	1,5-9, 12-14, 18-22, 24,26-30
X	GROBBEN GERT J ET AL: "Spontaneous formation of a mannitol-producing variant of Leuconostoc pseudomesenteroides grown in the presence of fructose" APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY, Bd. 67, Nr. 6, Juni 2001 (2001-06), Seiten 2867-2870, XP002264225 ISSN: 0099-2240 Abbildung 1 Seite 2869, rechte Spalte	1,5-7, 12,13

-/-



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

2. Februar 2004

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

17/02/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Schmitz, T

PCT/EP 03/11191

Formblatt PCT/ISA/210 (Fortsetzung von Blatt 2) (Juli 1992)

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	<p>DATABASE EMBL 'Online! 2. Juli 2002 (2002-07-02) AARNIKUNNAS J. ET AL.: "Leuconostoc mesenteroides mannitol dehydrogenase gene, complete cds; and unknown gene. " retrieved from EBI Database accession no. AY090766 XP002268518 Zusammenfassung</p> <p>----</p>	24,26-30
X	<p>JP 10 023896 A (UNITIKA LTD) 27. Januar 1998 (1998-01-27) Seite 9 -Seite 10</p> <p>----</p>	25-30
X	<p>GALKIN A ET AL: "Cloning of formate dehydrogenase gene from a methanol-utilizing bacterium Mycobacterium vaccae N10" APPLIED MICROBIOLOGY AND BIOTECHNOLOGY, SPRINGER VERLAG, BERLIN, DE, Bd. 44, 1995, Seiten 479-483, XP002192090 ISSN: 0175-7598 in der Anmeldung erwähnt Abbildung 1</p> <p>----</p>	25-30
A	<p>PARKER C ET AL: "CHARACTERIZATION OF THE ZYMOMONAS MOBILIS GLUCOSE FACILITATOR GENE PRODUCT (GLF) IN RECOMBINANT ESCHERICHIA COLI: EXAMINATION OF TRANSPORT MECHANISM, KINETICS AND THE ROLE OF GLUCOKINASE IN GLUCOSE TRANSPORT" MOLECULAR MICROBIOLOGY, BLACKWELL SCIENTIFIC, OXFORD, GB, Bd. 15, Nr. 5, 1. März 1995 (1995-03-01), Seiten 795-802, XP002054312 ISSN: 0950-382X Seite 796, linke Spalte, Absatz 1</p> <p>----</p>	
A	<p>KORNBERG HANS L ET AL: "Facilitated diffusion of fructose via the phosphoenolpyruvate/glucose phosphotransferase system of Escherichia coli" PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES, Bd. 97, Nr. 4, 15. Februar 2000 (2000-02-15), Seiten 1808-1812, XP002268516 Feb. 15, 2000 ISSN: 0027-8424 Seite 1812, linke Spalte, letzter Absatz -rechte Spalte, letzte Zeile</p> <p>----</p> <p style="text-align: center;">-/--</p>	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int nales Aktenzeichen

PCT/EP 03/11191

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der In Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
T	<p>KAUP B., BRINGER-MEYER S., SAHM H.: "Metabolic engineering of Escherichia coli: construction of an efficient biocatalyst for d-mannitol formation in a whole-cell biotransformation" APPLIED MICROBIOLOGY AND BIOTECHNOLOGY (E-PUB AHEAD OF PRINT), 'Online! 28. Oktober 2003 (2003-10-28), XP002268517 Gefunden im Internet: <URL:http://www.springerlink.com/app/home/main.asp?wasp=2pwgplqtqh76181kvrt0> 'gefunden am 2004-01-27! das ganze Dokument</p> <p>-----</p>	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Int. des Aktenzeichen

PCT/EP 03/11191

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 03095635	A	20-11-2003	DE	10220848 A1	04-12-2003
			WO	03095635 A2	20-11-2003
<hr/>					
JP 10023896	A	27-01-1998	KEINE		
<hr/>					